



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

JÚLIO APARECIDO SANTANA SANTOS

MODELO ESPACIAL DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE
EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O SEMIÁRIDO
BRASILEIRO

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2017

JÚLIO APARECIDO SANTANA SANTOS

MODELO ESPACIAL DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE
EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O SEMIÁRIDO
BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2017

JÚLIO APARECIDO SANTANA SANTOS

MODELO ESPACIAL DE ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE
EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O SEMIÁRIDO
BRASILEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos
como um dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Recursos Hídricos.

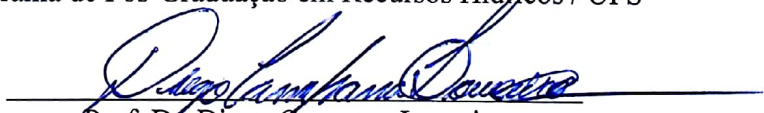
Aprovado em 28 de abril de 2017.



Prof. Dr. Ariovaldo Antônio Tadeu Lucas
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos / UFS (Orientador)



Prof. Dr. Inajá Francisco de Souza
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos / UFS



Prof. Dr. Diego Campana Loureiro
Departamento de Engenharia Agrícola / UFS

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2017

*“Senhor, pedi para o sol
se esconder um tiquinho/
pedi pra chover,
mas chover de mansinho/
pra ver se nascia
uma planta no chão.”*
Waldeck e Nelinho.

*“Que jorre a equidade como uma fonte
e a justiça como torrente que não seca.”*
Amós, 5:24.

RESUMO

O índice de erosividade das chuvas é um importante parâmetro de entrada na Equação Universal de Perda de Solos Modificada (MUSLE). O objetivo deste trabalho foi ajustar modelos de estimativa da erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro, em função das coordenadas geográficas e da menor distância ao litoral. Os valores do índice de erosividade mensal e anual foram estimados com o auxílio do software livre “R” tendo por base de dados séries históricas de precipitação pluvial de 158 estações pluviométricas distribuídas pela região. De posse dos valores de erosividade, modelos de regressão linear simples foram ajustados em função da latitude, longitude, altitude e da menor distância ao litoral em cada estação. Os modelos de regressão foram avaliados pelo coeficiente de determinação (r^2), pela raiz do erro quadrático médio (REQM) e pelo critério bayesiano de informação (BIC). No período chuvoso foram observados os maiores valores mensais de erosividade e o mês de março apresentou o maior valor ($1.676,60 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$). O índice de erosividade anual estimado variou entre $2.085,54$ e $4.755,59 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, valores classificados entre fraco e moderado. Os coeficientes de determinação (r^2) dos modelos de regressão ajustados variaram entre 0,13 e 0,91, sendo que as variáveis explicativas da latitude e da longitude apresentaram os melhores valores de correlação. Por fim, os modelos ajustados apresentaram desempenho satisfatório, com REQM de $564,4 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$, podendo ser utilizados na estimativa do índice de erosividade das chuvas anual no Semiárido Brasileiro.

Palavras-chave: MUSLE, precipitação, conservação do solo.

ABSTRACT

The rainfall erosivity index is an important input parameter of the Universal Equation of Modified Soil Loss (MUSLE). The objective of this work was fit models of rainfall erosivity for the Brazilian Semiarid, using the geographic coordinates and the shorter distance to the coast. Monthly and annual erosivity index values were estimated with the free software "R" and a historical rainfall database of 158 rainfall stations distributed throughout the region. Erosivity values, were adjusted simple linear regression models according to latitude, longitude, altitude and the shortest distance to the coast for each season. The regression models were evaluated by the coefficient of determination (r^2), by root mean square error (REQM) and Bayesian information criterion (BIC). In the historically rainy period, the highest monthly values of erosivity was observed and the month of March presented the highest value (1,676.60 MJ.mm⁻¹.mes⁻¹). The estimated annual erosivity index ranged between 2,085.54 and 4,755.59 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, values classified as weak and moderate. The coefficients of determination (r^2) of the adjusted regression models varied between 0.13 and 0.91, and the latitude and longitude explanatory variables had the best correlation values. Finally, the adjusted models presented satisfactory performance, with REQM of 564.4 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, which can be to estimate the annual rainfall erosivity index in the Brazilian Semiarid.

Keyword: MUSLE, precipitation, soil conservation.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte da fé.

Aos meus pais, seu Nivaldo e dona Neuza, agradeço aos ensinamentos e por sempre acreditaram na educação. Ao meu irmão Ezequiel, por toda a ajuda.

A Bruna, minha namorada, por estar ao meu lado ao longo dos últimos nove anos, por todo o incentivo e por tentar compreender as minhas ausências.

Ao tio Marcelo, pela acolhida em sua casa.

Ao professor Ariovaldo Tadeu, por toda a confiança, paciência e orientação.

Ao professor André Quintão, pela paciência e disponibilidade.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS) e a Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa (POSGRAP) pela oportunidade e pelo auxílio financeiro através do projeto Thesis.

Pela honra de fazer parte do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, aos professores e colegas por partilharem e instigarem o conhecimento.

Aos que fazem o Campus Rural, em especial ao Bruno e a sua família.

Aos amigos do Campus Lagarto, em especial aos que fazem o Serviço de Apoio às Licitações.

No mais, a todos que ajudaram para a realização deste projeto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo e distribuição pluviométrica.	23
Figura 2 – Características da área de estudo.	24
Figura 3 – Relação entre as variáveis explicativas e a erosividade anual.....	30
Figura 4 – Gráficos da erosividade estimada mensal e o resíduo.....	33
Figura 5 – Gráficos entre o resíduo e o valor normal esperado mensal.....	34
Figura 6 – Gráficos dos histogramas dos resíduos mensais	35
Figura 7 – Gráficos da relação mensal entre a erosividade estimada e a medida	36
Figura 8 – Gráficos para os valores anuais	37
Figura 9 – Mapas de erosividade mensal estimada	39
Figura 10 – Mapas da pluviosidade média mensal.....	40
Figura 11 – Mapa de precipitação pluvial anual (A) e erosividade anual (B) espacializada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.....	41
Figura 12 – Mapa de erosividade anual classificada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do potencial erosivo anual	29
Tabela 2 – Caracterização dos valores do índice de erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro	29
Tabela 3 – Coeficientes das equações ajustadas para estimativa do índice de erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro.	31

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação Universal de Perda de Solos.....	20
Equação 2 – Estimativa do Índice de Erosividade.....	25
Equação 3 – Índice de Fournier.....	25
Equação 4 – Modelo de Regressão Linear.....	26
Equação 5 – Raiz do Erro Quadrático Médio.....	27
Equação 6 – Critério Bayesiano de Informação.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agencia Nacional das Águas
CBI	Critério Bayesiano de Informação
EI	Índice de Erosividade
h	Altitude
ha	Hectare
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
IR	Índice de aridez
km	Quilometro
m	Metro
MJ	Megajoule
mm	Milímetro
MUSLE	Equação Universal de Perda de Solos Modificada
PL	Projeto de Lei
r^2	Coefficiente de determinação
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
SE	Sergipe
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SRTM	Missão Topográfica Radar Shuttle
ton	Tonelada
UTM	Universal Transversa de Mercator
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO	16
2.2 PRECIPITAÇÃO	18
2.3 MUSLE	19
2.4 ÍNDICE DE EROSIVIDADE	21
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	23
3.2 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE	25
3.3 AJUSTE DO MODELO	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6 CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE	49

1 INTRODUÇÃO

A erosão é um problema premente e transformou o curso da História humana mais que as guerras ou as revoluções. De modo gradual, o processo de erosão provoca o desprendimento e o transporte do solo, ao ser acelerado pelas práticas inadequadas de agricultura, tornando-o inabitável. Além de reduzir a sua capacidade de produção em uma relação direta com a escassez de alimentos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

O estudo da erosão dos solos possibilita prever o potencial erosivo em uma área e permite direcionar a atividade humana no uso e manejo sustentável dos recursos naturais (LOPES et al., 2011).

A origem da erosão ocorre através da transferência de energia e matéria proveniente da força eólica ou hídrica que ocasiona o rompimento do equilíbrio natural existente no solo e a cobertura vegetal. A erosão hídrica é agravada em áreas de clima tropical, a exemplo do Brasil, pelas chuvas concentradas e intensas em determinados períodos do ano, além do manejo inadequado das águas pluviais (MAFRA, 2005; PEJON et al., 2013; PRUSKI, 2011).

Durante as chuvas cada gota de água exerce sua ação erosiva sobre o solo ao impactar com velocidade, duração, intensidade, frequência e energia variável. Assim, nas áreas agrícolas o processo de erosão hídrica desagrega e transporta as partículas da massa de solo, promove a diminuição da capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial de sedimentos ou materiais inconsolidados (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; PEJON et al., 2013).

Um fator limitante ao desenvolvimento e para a consolidação da produção agrícola no Semiárido Brasileiro é a irregularidade na distribuição das chuvas. A região é afetada por grandes secas e contrariamente por precipitações intensas em curtos períodos que ocasionam a erosão do solo e a perda de grandes volumes de água não armazenados em seu perfil (MARENGO, 2006; PORTO et al., 2011).

Para Martins (2013), a conservação dos solos deve ser adotada numa escala de município, ao visar a participação de todas as propriedades rurais que a compõem. O que possibilita a definição em conjunto das melhores técnicas de conservação a serem implementadas.

Do mesmo modo, a Lei Federal de nº 8.171/1991 (BRASIL, 1991) ao dispor sobre a política agrícola determina que por se tratar de um patrimônio natural do País, o solo deve ser respeitado e a erosão deve ser combatida pelo Poder Público e pelos proprietários rurais.

Para a adoção das práticas conservacionistas e o planejamento ambiental, o uso de equações empíricas capazes de estimar as perdas de solo e o índice da erosividade vem se tornando indispensáveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; SAITO et al., 2009).

O índice de erosividade (R) das chuvas é um dos principais parâmetros de entrada da Equação Universal de Perdas de Solos (WISCHMEIER; SMITH, 1978). O valor do índice de erosividade ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$) de uma determinada região reflete o poder da precipitação pluvial incidente em erodir o solo, quando este se encontra sem cobertura vegetal (AQUINO et al., 2008). Está diretamente relacionado como a duração, intensidade e frequência dos eventos de precipitação (BAZZANO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2006; MONTEBELLER et al., 2007).

O modelo original de estimativa do índice de erosividade (WISCHMEIER; SMITH, 1978) se baseia na energia cinética das gotas das chuvas e depende de dados pluviométricos coletados em curtos intervalos de tempo menores ou iguais a 20 minutos. Em algumas regiões do mundo, como a região Nordeste do Brasil, existe uma grande carência deste tipo de informação, dificultando a estimativa deste índice (ARAGÃO et al., 2011; MOREIRA et al., 2006).

Devido a carência de dados para determinar a precipitação em curtos intervalos de tempo, as coordenadas geográficas apresentam boa correlação na tentativa de estimar as chuvas mensais. Para o Mato Grosso do Sul a latitude e a altitude apresentaram os maiores efeitos sobre a distribuição espacial das chuvas (TEODORO et al., 2016) e no Rio Grande do Sul a latitude apresentou uma maior influência na estimativa desses valores (TEIXEIRA-GANDRA et al., 2015).

Em relação a estimativa do índice de erosividade em regiões com carência de dados pluviométricos coletados em curtos intervalos de tempo, métodos alternativos com boa precisão também estão sendo desenvolvidos. Bertoni e Lombardi Neto (2008) desenvolveram um método de estimativa da erosividade com base nos valores mensais e anuais de precipitação pluvial e no índice de Fournier. De acordo com os autores, o método pode ser utilizado em áreas com disponibilidade de dados históricos de precipitação pluvial superiores há 10 anos.

Mannaerts e Gabriels (2000) avaliaram a erosividade das chuvas na ilha de Cabo Verde com base em dados de precipitação pluvial coletados em média, em sete anos, encontrando bons resultados. No estudo do potencial de erosão laminar da bacia hidrográfica do rio Japaratuba/SE, Aragão et al. (2011) estimaram a erosividade das chuvas com base no modelo desenvolvido por Bertoni e Lombardi Neto.

Em algumas regiões do Brasil, muitos estudos encontraram uma boa correlação entre os valores pontuais do índice de erosividade e os totais mensais e anuais de precipitação pluvial (ARAGÃO et al., 2011; ARAGÃO et al., 2013; SILVA, 2004). No entanto, poucos são os estudos que buscam estimar valores do índice de erosividade das chuvas a partir de variáveis geográficas, como a latitude, a longitude, a altitude e a menor distância em relação ao litoral.

Neste estudo, por carência de dados, foi utilizado o modelo desenvolvido por Cantalice et al. (2009), o qual estabelece correlações simples entre o índice de erosividade (EI_{30}) e parâmetros de precipitação pluviométrica em função do total de chuva incidente. Espera-se, portanto, haver neste estudo, uma relação direta entre os valores de precipitação e de erosividade.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo ajustar modelos espaciais de estimativa da erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro em função das coordenadas geográficas e da menor distância ao litoral.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O Semiárido Brasileiro compõe um dos três núcleos semiáridos existentes em um subcontinente predominado pelo clima úmido, a América do Sul. No Brasil, a região semiárida forma uma área isolada em um quadrante de natureza singular no contexto ecológico, climático, hidrológico e social (AB'SABER, 2003).

O bioma da região é caracterizado pela ocorrência da mata branca que forma a Caatinga e por áreas menores de Cerrado (AB'SABER, 2003).

Em relação aos aspectos climáticos, a região sofre a influência de elementos exógenos à região, como o fenômeno oceânico El Niño e os processos de circulação atmosférica das massas de ar: Polar Atlântico, Tropical Atlântica, Equatorial do Atlântico Norte, do Sul e Continental. Assim, o semiárido apresenta um clima tropical-equatorial com sete a oito meses secos e elevadas temperaturas com médias anuais que variam entre 20 a 35°C, além da precipitação anual máxima de 800mm (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

O período das chuvas é marcado pela irregularidade na concentração, a distribuição em um curto período e a grande variabilidade espacial e temporal que ocasiona períodos cíclicos de escassez hídrica. Os meses secos da região paradoxalmente correspondem ao período do inverno meteorológico, na sua parte sul as maiores precipitações ocorrem de dezembro a fevereiro e ao norte de março a maio (AB'SABER, 2003; SILVA et al., 2010).

Juntamente com as primeiras chuvas do ano de alta intensidade e de curta duração ocorrem o início das atividades da agricultura de sequeiro o que resulta em um elevado risco de perda de solo (SANTOS et al., 2006).

As secas e estiagens afetam também as atividades agropecuárias e as práticas agropastoris em pequenas e médias propriedades. Historicamente a região é marcada pelo ruralismo tradicional, dificuldade de absorção de novas tecnologias e graves problemas socioeconômicos que acarretam no êxodo para outras partes do país (BRASIL, 1998).

A Constituição Federal (BRASIL, 1988) determina que para a região do semiárido ocorra a adoção de políticas para o desenvolvimento, a realização de investimentos em irrigação e a destinação da metade dos recursos para aplicação em programas de financiamento ao setor produtivo do Nordeste Brasileiro.

Inicialmente a delimitação da área considerada como Semiárido Brasileiro foi definida como a região natural inserida na área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE (BRASIL, 1989).

Atualmente a região do semiárido é classificada oficialmente pela delimitação a partir da utilização de três critérios técnicos sobrepostos definidos pela Portaria Interministerial 01 (BRASIL, 2005):

- I – precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;
- II – Índice de aridez (IR) de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;
- III – risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

A adoção dos critérios definidos pela Portaria Interministerial possibilitou a ampliação da área de forma significativa com o objetivo de desenvolver a região. Além da ativação de seu potencial endógeno de crescimento econômico e a diminuição das desigualdades inter-regionais (BRASIL, 2005; PEREIRA JUNIOR, 2007).

Atualmente a região cobre 12% do território nacional e 63% da região Nordeste ao se estender por um espaço geográfico de 980.711 quilômetros quadrados em 1.135 municípios distribuídos pelos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, além da parte setentrional de Minas Gerais (INSA, 2012).

Em 2014, a região do semiárido possuía 23.846.982 habitantes, o que representa 11,76% da população brasileira e 42,44% da nordestina (INSA, 2014). Sendo a região semiárida mais povoada do mundo e com uma rígida estrutura agrária (AB’SABER, 2003).

Nos últimos anos a ampliação da área que abrange a região do Semiárido Brasileiro vem sendo posta em discussão no Congresso Nacional através dos projetos de Lei 4.936/2013,

5.511/2013 e 6.048/2013, que visam abranger não só questões técnicas, mas também políticas regionais e econômicas.

A produção agrícola e o desenvolvimento dessa atividade econômica na região do Semiárido Brasileiro são limitados em função da irregularidade na distribuição sequencial das chuvas. A estação chuvosa é curta e com um longo intervalo, além das chuvas de alta intensidade contribuírem para o processo erosivo e a redução da taxa de infiltração do solo (PORTO et al., 2011).

2.2 PRECIPITAÇÃO

De acordo com Collischon e Dornelles (2013) a precipitação é a principal variável de entrada do balanço hídrico. Sendo uma importante variável nos processos hidrológicos devido a sua aleatoriedade no tempo e espaço. Uma vez que, variados são os fatores que influenciam no modo como a precipitação interage em uma bacia hidrográfica.

A precipitação pode ser facilmente medida, porém, pode apresentar dificuldade de acurácia devido a erros instrumentais, de localização e de exposição. Na Zona Tropical, a precipitação é a variável climatológica mais importante, além de apresentar relação direta com a convecção das massas de ar (MOLION; BERNARDO, 2000).

Tucci (2009) relata que a medição da intensidade das chuvas por meio de pluviógrafos possibilita caracterizar a sua variabilidade temporal em intervalos inferiores às observações manuais realizadas por pluviômetros. Sendo que a precisão das medições é variável dependente do valor da precipitação e do tempo.

No Semiárido Brasileiro a intensidade das precipitações resulta em secas severas e modifica as atividades humanas, além de sofrer uma variabilidade interanual na sua distribuição devido a mecanismos de grande escala como o fenômeno climático El Niño, La Niña e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), além de processos de meso e microescala formados respectivamente por circulações orográficas e de pequenas células convectivas (MOLION; BERNARDO, 2000).

Por sua vez Ferreira e Mello (2005) relatam que os principais sistemas atmosféricos atuantes sobre o Nordeste Brasileiro são: as Zona de Convergência Intertropical, as frentes de nuvens, os vórtice Ciclônicos de Altos Níveis, as linhas de instabilidade, os complexos convectivos de Mesoescala, as ondas de Leste, as brisa marítima e terrestre, além dos oceanos Pacífico e Atlântico.

Na parte Norte do Nordeste Brasileiro, região que abrange o Estado do Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e de Pernambuco o quadrimestre mais chuvoso ocorre entre os meses de fevereiro a maio e máximas em março. Para o primeiro bimestre (fevereiro-março), as chuvas são mais intensas no noroeste do Piauí, com valores acima de 400 mm para o extremo oeste da Paraíba, sudeste do Ceará e sudoeste do Rio Grande do Norte. Já no segundo bimestre (abril-maio) as precipitações diminuem de intensidade e as mais intensas ocorrem nas áreas próximas ao litoral norte e extremo norte da região. Sendo o principal mecanismo de produção das chuvas a ZCIT, além da convergência de umidade, a convecção local e frentes frias (MOLION; BERNARDO, 2000; MELO et al., 2002; ALVES et al., 1997).

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é responsável pela estação chuvosa entre novembro a março no Sul do Nordeste Brasileiro, uma área que abrange grande parte do Estado da Bahia, norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo e sul do Maranhão e Piauí, além do extremo sudoeste de Pernambuco. Sendo o período mais chuvoso entre os meses de novembro a fevereiro, meses nos quais os índices pluviométricos variem de 600 a 3.000 mm ao ano. Já para o Leste do Nordeste Brasileiro o período mais chuvoso ocorre entre os meses de abril e julho. Na média geral o mês de março é o mais chuvoso no interior do Nordeste Brasileiro devido a convecção local (MOLION; BERNARDO, 2000).

2.3 MUSLE

A erosão hídrica ocasiona o desprendimento e o arraste das partículas de solo, apresenta elevado potencial de redução na sua capacidade produtiva e pode comprometer os recursos hídricos superficiais, decrescendo a disponibilidade de água (MELLO et al., 2007).

Ao longo dos anos diversas foram as equações propostas para calcular a perda de solo para as diversas condições regionais e climáticas.

Pontes (1977) relata a formulação de uma equação tendo por área de estudo o noroeste do Estado do Paraná tendo por objetivo o controle da erosão em região cafeeira.

O processo erosivo pode ser medido por meio da Equação Universal de Perdas de Solo – USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Tal equação determina a área da perda de solo em função da ação dos seis principais fatores que influenciam a erosão hídrica, sendo a equação mais empregada para o cálculo da erosão em termos médios anuais ao considerar fatores ativos e passivos. Para ser estabelecida foram analisados dados de 10.000 lotes que sofreram processo de erosão hídrica superficial do tipo laminar em características diferentes de clima, relevo e área cultivada (CARVALHO, 2008).

A USLE é expressa através da Equação 1 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Onde:

A = perda de solo ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$)

R = erosividade da chuva ($\text{MJ} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ano}$);

K = erodibilidade do solo ($\text{ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}$);

L = comprimento do declive (m);

S = grau de declividade do terreno;

C = cobertura do solo;

P = práticas conservacionistas utilizadas.

Carvalho (2008) relata que a Equação das Perdas de Solo Modificada (MUSLE) advém da necessidade da utilização da USLE em um campo maior de atuação. Ao possibilitar a determinação da perda de solos em áreas homogêneas dentro de uma bacia hidrográfica.

A modificação da Equação Universal de Perda de Solos expõe o aperfeiçoamento no cálculo do fator hidrológico e mantém os demais parâmetros idênticos aos da USLE (SANTOS, 2015).

2.4 ÍNDICE DE EROSIVIDADE

O índice de erosividade das chuvas (R) é um dos principais parâmetros de entrada da Equação Universal de Perdas de Solos (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Tal índice expressa a capacidade da precipitação pluvial erodir o solo em determinada localidade que se encontra sem cobertura vegetal e está diretamente relacionado com a duração, intensidade e frequência desses eventos (AQUINO et al., 2008; BAZZANO et al., 2010; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; GONÇALVES et al., 2006; MONTEBELLER et al., 2007).

Os valores de índice de erosividade podem ser estimados com base na energia cinética das gotas das chuvas, como realizado pelo modelo desenvolvido por Wischmeier e Smith (1978), ou por métodos alternativos, que se baseiam no total precipitado.

O índice de erosividade (EI_{30}) é comumente utilizado para representar o produto da energia cinética pela intensidade máxima em trinta minutos decorrente do impacto de cada gota de chuva ao atingir o solo e causar o transporte das partículas de solo desprendidas (CABRAL et al., 2005; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Carvalho (2008), classificou o índice de erosividade em classes que variam de fraca a muito forte em função do seu valor, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação do potencial erosivo anual.

Classe de erosividade	Erosividade ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$)
Erosividade fraca	$R \leq 2452$
Erosividade moderada	$2452 < R \leq 4905$
Erosividade moderada a forte	$4905 < R \leq 7357$
Erosividade forte	$7357 < R \leq 9810$
Erosividade muito forte	$R > 9810$

Fonte: Carvalho (2008).

Tal proposta vêm sendo utilizada para classificar o índice de erosividade em regiões do semiárido, a exemplo do Rio Grande do Norte que apresentou a maior erosividade no período de janeiro a abril (SANTOS, 2015).

Estima-se que sejam necessários 20 anos de coleta de dados pluviométricos para se obter um índice de erosividade confiável (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Entretanto, devido à dificuldade para a obtenção de uma base de dados vários trabalhos têm sido realizados no Brasil abrangendo um número de anos inferior (BERTOL, 1993; GONÇALVES et al., 2006).

De acordo com Silva (2004) a longitude influencia o comportamento da erosividade no Brasil pela influência da Região Amazônica em relação ao Nordeste do país.

Mello et al. (2007) ao realizar a estimativa da erosividade em Minas Gerais, constatou que para a região a erosividade é influenciada por efeitos orográficos e características climáticas, além de não apresentar relação com a latitude e longitude.

Cantalice et al. (2009), realizaram o mapeamento da erosividade das chuvas para o Estado de Pernambuco ao correlacionar o valor médio mensal do EI_{30} a dados pluviométricos, o coeficiente das chuvas de Fournier e a precipitação média mensal. Assim, estimaram valores médios anuais do EI_{30} a partir das melhores equações de regressão.

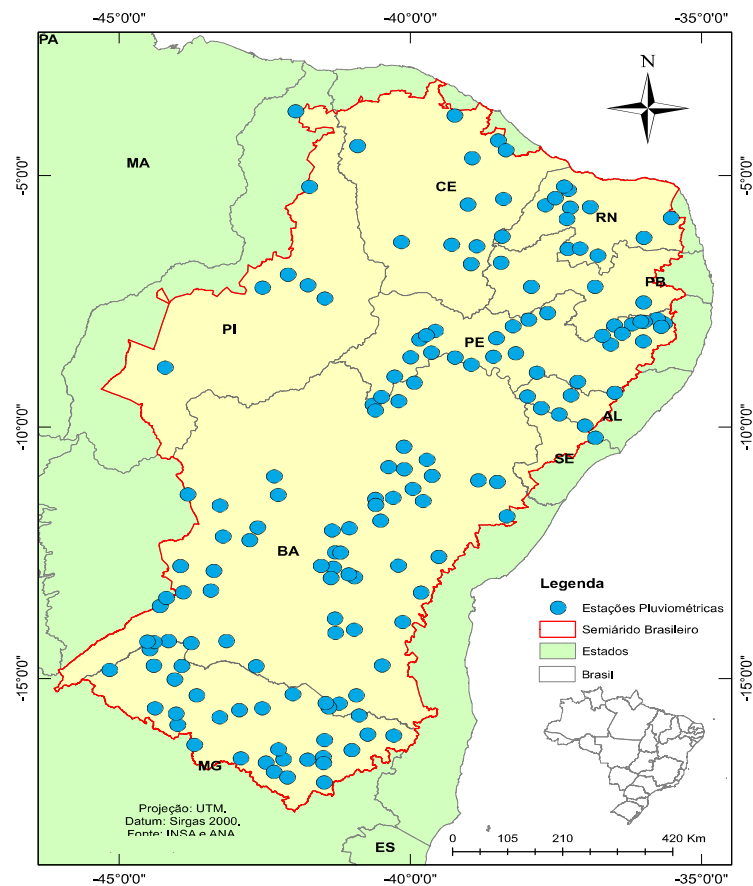
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi realizado no Semiárido Brasileiro, com área aproximada de 980.711 km². A região está localizada entre as coordenadas 3°4'47" e 17°39'22" de latitude Sul e 46°7'14" e 35°16'20" de longitude Oeste (Figura 1).

Na estimativa do índice de erosividade do semiárido, foram utilizadas séries climáticas normais mensais de precipitação pluvial de 158 estações pluviométricas (APÊNDICE) distribuídas pela região (Figura 1). Os dados foram obtidos através do Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb (ANA, 2013).

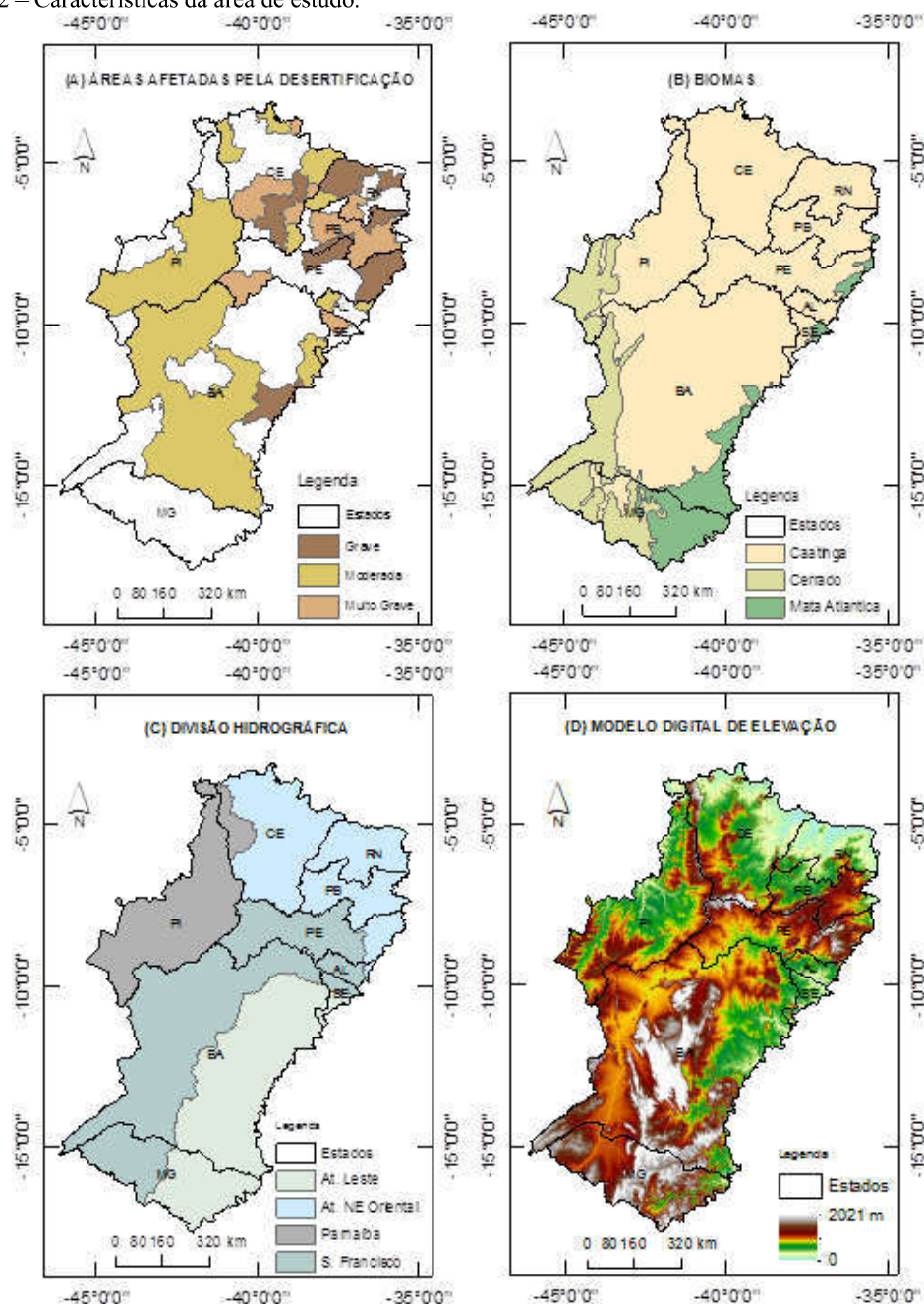
Figura 1 – Localização da área de estudo e distribuição pluviométrica.



Fonte: INSA(2016) e ANA (2013).
Elaborado pelo autor.

Algumas das características físicas do semiárido estão apresentadas na Figura 2.

Figura 2 – Características da área de estudo.



Fonte: INSA (2016) e MIRANDA (2005).
Elaborado pelo autor.

A região apresenta áreas afetadas pela desertificação de modo grave, moderado e muito grave (Figura 2A). O processo de desertificação ocorre devido as causas naturais, como relevo e clima em um ecossistema naturalmente frágil, além do precário equilíbrio ambiental. A

desertificação é agravada pela ação antrópica, com o uso inadequado do solo e a posterior perda da sua fertilidade natural (TROLEIS e SANTOS, 2011).

Na área de Caatinga (Figura 2B) a proteção natural do solo e as intempéries fazem com que o processo de desertificação ocorra espontaneamente mesmo na ausência da intervenção antrópica. Porém, é evidente que a intervenção humana nesse ambiente através da extração da vegetação para a agricultura e pecuária aceleram o processo (PEREZ-MARIN et al., 2012).

O processo erosivo no semiárido afeta as bacias hidrográficas da região, a exemplo da bacia hidrográfica do rio São Francisco (Figura 2C) com a formação de bancos de areia ao longo da sua calha e a redução da capacidade de escoamento (BRASIL, 2012).

O Semiárido Brasileiro apresenta as áreas de maior altitude conforme o Modelo Digital de Elevação nos Estados da Bahia, Ceará, Minas Gerais e Pernambuco (Figura 2D). Franca-Rocha et al. (2007), relatam que nas serras do semiárido as altitudes variam de 1.000 a 2.000 metros e com o aumento da altitude as chuvas orográficas precipitam cerca de 1.500 mm/ano.

3.2 ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE EROSIVIDADE

Para a realização do presente estudo a estimativa do índice de erosividade mensal (EI_{30}) foi realizada pela metodologia proposta por Cantalice et al. (2009), apresentada na Equação 2.

$$EI_{30} = 73,34 + 23,18(R) \quad (2)$$

Onde:

R = índice de Fournier modificado ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$).

O índice de Fournier modificado (RENARD; FREIMUND, 1994) foi estimado conforme a Equação 3.

$$R = p_i^2 P^{-1} \quad (3)$$

Onde:

p_i = precipitação média do mês i (mm);

P = precipitação média anual (mm).

O índice de erosividade anual foi estimado pela somatória dos valores encontrados em cada mês do ano. A escolha do método desenvolvido por Cantalice et al. (2009) foi baseada na disponibilidade de dados de precipitação pluvial existentes na área de estudo e pela semelhança entre as regiões climáticas do semiárido e Pernambuco.

Na estimativa do índice de erosividade do Semiárido Brasileiro, foram utilizadas séries climáticas normais mensais de precipitação pluvial de 158 postos pluviométricos da Agência Nacional das Águas (ANA, 2013). Os dados utilizados neste estudo foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (ANA), constituindo-se de séries históricas pluviométricas, com duração mínima de quinze anos e máxima de noventa e seis anos.

Na análise preliminar dos índices de erosividade, foram utilizadas estatísticas descritivas, com o objetivo de sintetizar os valores e permitir uma visão global da variação dos valores obtidos através da média, desvio padrão, valores máximos e mínimos.

3.3 AJUSTE DO MODELO

Os valores de altitude (h) utilizados no trabalho, em metros, foram extraídos da Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM) (MIRANDA, 2005), com resolução espacial de 90 metros (Figura 2D). A partir da grade regular do SRTM, foram gerados valores de latitude (Φ) e longitude (λ), em graus, com a mesma malha espacial de 90 metros. Já a distância (d), foi estabelecida através da determinação da distância euclidiana a partir do litoral até o continente. Toda manipulação dos dados fisiográficos foi realizada com o auxílio do um Sistema de Informação Geográfica (SIG), ArcMap 10®.

A partir dos valores estimados do índice de erosividade, modelos de regressão lineares (Equação 4) foram ajustados em função dos valores de latitude, longitude, altitude e a menor distância ao litoral.

$$EI_{30} = \beta_0 + \beta_1\phi + \beta_2\lambda + \beta_3h + \beta_4d + \xi \quad (4)$$

Onde:

EI_{30} = valores do índice de erosividade para cada mês;

$\beta_{0,1,\dots,4}$ = coeficientes gerados;

ϕ = latitude, em graus;

λ = longitude, em graus;

h = altitude local, em metros;

d = menor distância em relação ao litoral, em metros;

ξ = erro aleatório com média próxima de 0 e variância igual a 1.

Na análise exploratória dos dados foi utilizado diagrama de dispersão para verificar a força e a natureza entre as variáveis explicativas (latitude, longitude, altitude e menor distância) e a variável dependente (índice de erosividade).

Para se obter as melhores variáveis explicativas foram aplicadas técnicas de seleção baseadas no coeficiente de determinação (r^2), na raiz do erro quadrático médio (REQM), descrito na Equação 5 e no critério bayesiano de informação (CBI).

$$REQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Pi - Oi)^2}{N}} \quad (5)$$

Onde:

Pi = valores preditos;

Oi = valores observados;

N = número de dados avaliados.

O critério bayesiano de informação (CBI) (Equação 6) é utilizado para selecionar modelos em diversas áreas, onde o melhor modelo será aquele que apresentar o menor valor (EMILIANO, 2009).

$$CBI = p \log(n) - 2 \log L(\theta) \quad (6)$$

Onde:

p = número de parâmetros;

n = número de observações;

$L(\theta)$ = o máximo da função de verossimilhança.

Na seleção das variáveis foram consideradas todas as possíveis regressões, formadas a partir do conjunto total de variáveis explicativas, para modelos com um número pré-determinado de parâmetros. A análise dos resíduos foi realizada para avaliar a variância residual dos mesmos. O ajuste dos modelos de erosividade gerados e a criação dos gráficos foram realizados através do software livre de estatística “R”, versão 3.3.3.

De posse dos modelos ajustados e validados, os valores de erosividade mensal e anual, foram espacializados para o Semiárido Brasileiro com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) através das ferramentas de análise espacial, álgebra de mapas, interpolação e reclassificação.

Para verificar a existência da relação entre a erosividade medida em relação a estimada mensal e anual foram construídos diagramas de dispersão para as duas variáveis com a reta ajustada a partir das equações apresentadas.

Para a análise dos resíduos com o objetivo de avaliar as suposições de que os erros possuem variância constante e são correlacionados entre si, foram construídos gráficos para os resíduos em relação aos valores ajustados da variável resposta e resíduos versus o valor normal esperado quantil-quantil, além do histograma dos resíduos e a sua frequência.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise estatística descritiva dos valores do índice de erosividade são apresentados na Tabela 2. Setembro foi o mês que apresentou a menor média (48,30), o quadrimestre mais erosivo compreende os meses de janeiro a abril, sendo março o mês no qual foi observado o maior valor de erosividade das chuvas (1.676,60). Resultado semelhante ao encontrado por Aragão et al. (2011) em uma bacia hidrográfica localizada no estado de Sergipe. O maior desvio padrão foi observado no último mês do ano, já o menor desvio padrão foi observado em setembro, mês com baixos valores precipitados.

Tabela 2 – Caracterização dos valores do índice de erosividade das chuvas ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$) para o Semiárido Brasileiro.

Mês	Mínimo	Média	Máximo	Desvio padrão	Coeficiente de correlação			
					Latitude	Longitude	Altitude	Distância
Janeiro	69,08	352,32	848,61	117,71	-0,59*	-0,63*	0,03 ^{NS}	0,39*
Fevereiro	72,03	317,2	876,45	145,84	0,09 ^{NS}	-0,18*	-0,18*	0,02 ^{NS}
Março	101,9	470,4	1.676,60	273,74	0,37*	0,09 ^{NS}	-0,28*	-0,27*
Abril	91,08	351,87	1.597,46	295,32	0,68*	0,40*	-0,31*	-0,49*
Maio	9,59	195,76	696,77	168,85	0,79*	0,63*	-0,22*	-0,56*
Junho	1,51	148,12	593,65	161,90	0,55*	0,56*	-0,01 ^{NS}	-0,35*
Julho	0,03	116,67	534,30	141,66	0,44*	0,49*	0,02 ^{NS}	-0,27*
Agosto	0	66,723	340,40	86,28	0,30*	0,41*	0,09 ^{NS}	-0,22*
Setembro	0,18	48,30	168,38	37,52	-0,17*	0,09 ^{NS}	0,17*	-0,09 ^{NS}
Outubro	0,11	122,95	345,16	94,21	-0,93*	-0,72*	0,16*	0,46*
Novembro	0,77	314,14	810,20	271,05	-0,93*	-0,79*	0,14 ^{NS}	0,53*
Dezembro	18,39	388,51	922,55	302,49	-0,90*	-0,79*	0,13 ^{NS}	0,55*
Anual	1.512	2.893	5.865	687,67	-0,13 ^{NS}	-0,30*	-0,17*	-0,01 ^{NS}

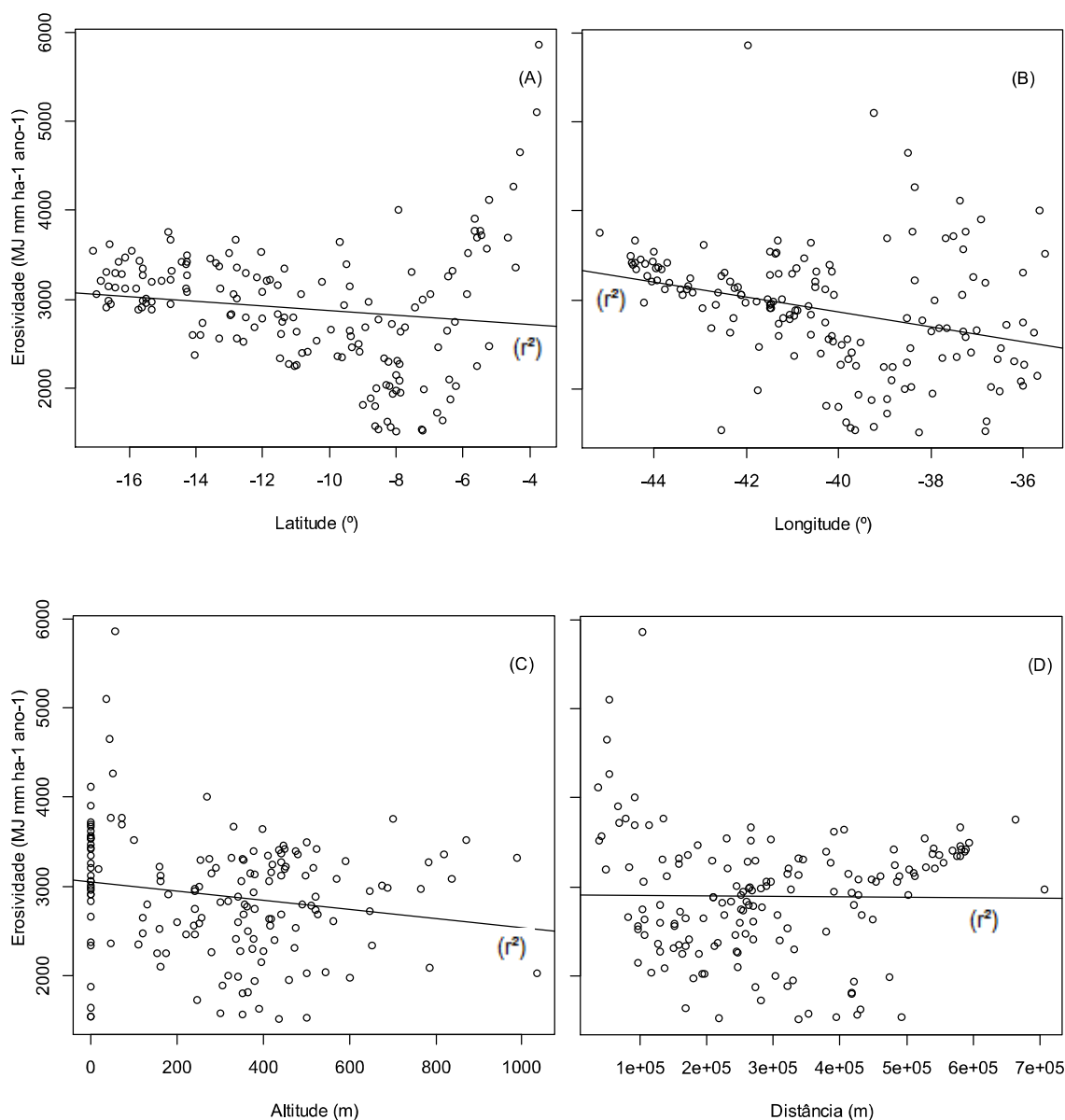
*Correlação significativa ao nível de 5% de probabilidade.

A análise dos coeficientes de correlação, entre os valores do índice de erosividade e as coordenadas geográficas, mostra um comportamento diferenciado entre dois períodos distintos do ano, o chuvoso e o seco. No chuvoso (janeiro a julho), são observados os maiores valores do coeficiente de correlação direta e significativo a 5% de probabilidade. Este resultado mostra evidências de uma possível relação entre o índice de erosividade e os valores de latitude e a longitude, assim como encontrado no trabalho de Silva (2004), o qual estabeleceu um mapa de erosividade para o Brasil através da precipitação anual. Já o período seco do ano (setembro a

dezembro), apresentou os maiores coeficientes de correlação negativa significativa entre os índices de erosividade e a latitude e a longitude. A altitude apresentou baixos valores de correlação significativa, além de seis meses não significativos. Já a distância em relação ao litoral apresentou no período chuvoso os maiores coeficientes de correlação negativa.

Na Figura 3 podem ser observados os diagramas de dispersão entre os valores de erosividade anual, as coordenadas geográficas e a menor distância ao litoral. Apesar dos coeficientes de correlação significativos (Tabela 2), os diagramas de dispersão apresentam uma distribuição aleatória.

Figura 3 – Relação entre as variáveis explicativas e a erosividade anual.



O índice de erosividade apresenta uma correlação inversa moderada com os valores de latitude, longitude, altitude e da menor distância (Figura 3A, 3B, 3C e 3D). O mesmo comportamento pode ser observado pelos coeficientes de correlação da Tabela 2 para o período seco em relação à latitude e a longitude. Ao analisar a longitude no período chuvoso a correlação com a erosividade é positiva, o mesmo ocorre com a latitude que apresentou um resultado similar ao encontrado por Silva (2004) no estudo de mapeamento da erosividade das chuvas no Brasil.

O coeficiente de determinação (r^2) entre o índice de erosividade e as variáveis explicativas, latitude, longitude, altitude e distância, foram de 0,012, 0,087, 0,024 e -0,006, respectivamente. Valores considerados pequenos e que sozinhos não permitem estimar a erosividade. Determinação semelhante a encontrada por Mello et al. (2012) no estudo de dependência espacial dos valores de erosividade das chuvas no estado do Espírito Santo.

Na Tabela 3 podem ser observados os modelos ajustados, além dos coeficientes (r^2 , REQM e o CBI) estatísticos utilizados na etapa de validação das equações.

Tabela 3 – Coeficientes das equações ajustadas para estimativa do índice de erosividade das chuvas para o Semiárido Brasileiro.

Mês	Modelo	Ajuste		Validação		
		r^2	CBI	r^2	REQM	%
1	$-1733,60^{***} - (10,81^{**}\Phi) - (51,33^{***}\lambda) - (0,06h) - (0,33^{**}d)$	0,47	-82	0,45	132,6	37,6
2	$-1684,17^{***} + (21,18^{***}\Phi) - (59,62^{***}\lambda) - (0,05h) - (0,52^{***}d)$	0,24	-22	0,23	131,2	41,3
3	$-3456,83^{***} + (56,56^{***}\Phi) - (124,43^{***}\lambda) - (0,12^*h) - (1,47^{***}d)$	0,43	-69	0,40	210,5	44,7
4	$-2829,94^{***} + (76,45^{***}\Phi) - (111,88^{***}\lambda) - (0,12^*h) - (1,56^{***}d)$	0,71	-178	0,70	158,5	45,0
5	$+151,41 + (34,19^{***}\Phi) - (13,66^*\lambda) - (0,04h) - (0,41^{***}d)$	0,69	-166	0,67	95,5	48,8
6	$+1511,52^{***} + (12,46^{**}\Phi) + (33,82^{***}\lambda) + (0,23h) + (0,19d)$	0,38	-55	0,37	129,4	87,3
7	$+1666,60^{***} + (4,35\Phi) + (24,04^{***}\lambda) + (0,03h) + (0,17^{**}d)$	0,30	-36	0,29	119,7	102,6
8	$+967,69^{***} - (0,64\Phi) + (24,04^{***}\lambda) + (0,03h) + (0,17^*d)$	0,21	-13	0,20	77,6	114,4
9	$+265,38^{**} - (4,44^{***}\Phi) + (6,86^{**}\lambda) + (0,02h) + (0,01d)$	0,13	-2	0,14	35,4	73,4
10	$-471,81^{***} - (20,10^{***}\Phi) - (9,62^{***}\lambda) + (0,02h) - (0,06d)$	0,87	-307	0,87	33,4	27,2
11	$-1993,20^{***} - (51,06^{***}\Phi) - (44,71^{***}\lambda) + (0,04^*h) - (0,21^{**}d)$	0,91	-369	0,92	75,8	24,1
12	$-1967,75^{***} - (54,65^{***}\Phi) - (44,24^{***}\lambda) + (0,16^*h) - (0,83^*d)$	0,87	-303	0,86	109,0	28,0
Ano	$-9505,69^{***} + (63,49^{***}\Phi) - (355,10^{***}\lambda) - (0,17h) - (3,97^{***}d)$	0,35	-48	0,33	564,4	19,5

***Significativo a 1% de probabilidade; **Significativo a 5% de probabilidade; *Significativo a 10% de probabilidade; r^2 , coeficiente de determinação; REQM, raiz do erro quadrático médio; CBI, critério bayesiano de informação.

As equações de regressão de estimativa do índice de erosividade das chuvas ajustadas apresentaram um bom desempenho, com valores de coeficiente de determinação (r^2), raiz do erro quadrado médio (REQM) e critério bayesiano de informação (CBI), satisfatórios. O mês

de setembro apresentou valor de r^2 (0,13) bem abaixo dos demais. O valor do CBI também apresentou o pior resultado (-2) no nono mês do ano.

O melhor coeficiente de determinação foi encontrado na equação de novembro. Mês que juntamente com abril, maio e dezembro apresentaram nas suas equações os produtos entre os valores de latitude (Φ), longitude (λ), altitude (h) e a menor distância ao litoral (d). Mostrando que nestes meses, os valores de erosividade são fortemente influenciados por estas variáveis. Os meses de outubro, novembro e dezembro, também apresentaram bons coeficientes de determinação e os menores percentuais para a REQM, além dos melhores valores do CBI. Cabe ressaltar ainda, que nestes meses, as variáveis explicativas latitude e longitude foram significativas, tendo grande influência nos valores de erosividade (Tabela 3).

Ao validar o coeficiente de determinação, os meses de junho a setembro apresentaram os maiores percentuais para a REQM e os menores coeficientes de determinação, o que representa uma baixa correlação para este período.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos mensais da erosividade estimada e o resíduo, a Figura 5 apresenta os gráficos para o resíduo e o valor normal esperado mensal. Ao analisar os gráficos é possível perceber um bom ajuste do modelo para os meses de janeiro, março, maio, outubro, novembro e dezembro, uma vez que tais meses apresentaram os maiores valores do coeficiente de determinação.

Por sua vez, para o mês fevereiro é possível observar que a suposição de normalidade é aceitável apesar dos valores do diagrama de dispersão não seguirem a linha de tendência ajustada.

Para os meses de março e abril os valores residuais e o histograma (Figura 6) indicam um bom ajuste do modelo, apesar do diagrama de dispersão não acompanhar a linha de tendência ajustada.

Já para o mês de junho a análise dos valores residuais e o diagrama de dispersão não seguem a linha de tendência ajustada, o mesmo ocorre para os meses de agosto e setembro.

A Figura 7 apresenta os gráficos da relação mensal entre a erosividade estimada e a medida, é possível perceber que os meses de abril, maio, novembro e dezembro apresentaram os melhores coeficientes de determinação e os maiores índices pluviométricos (Figura 10).

Figura 4 – Gráficos da erosividade estimada mensal ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$) e o resíduo.

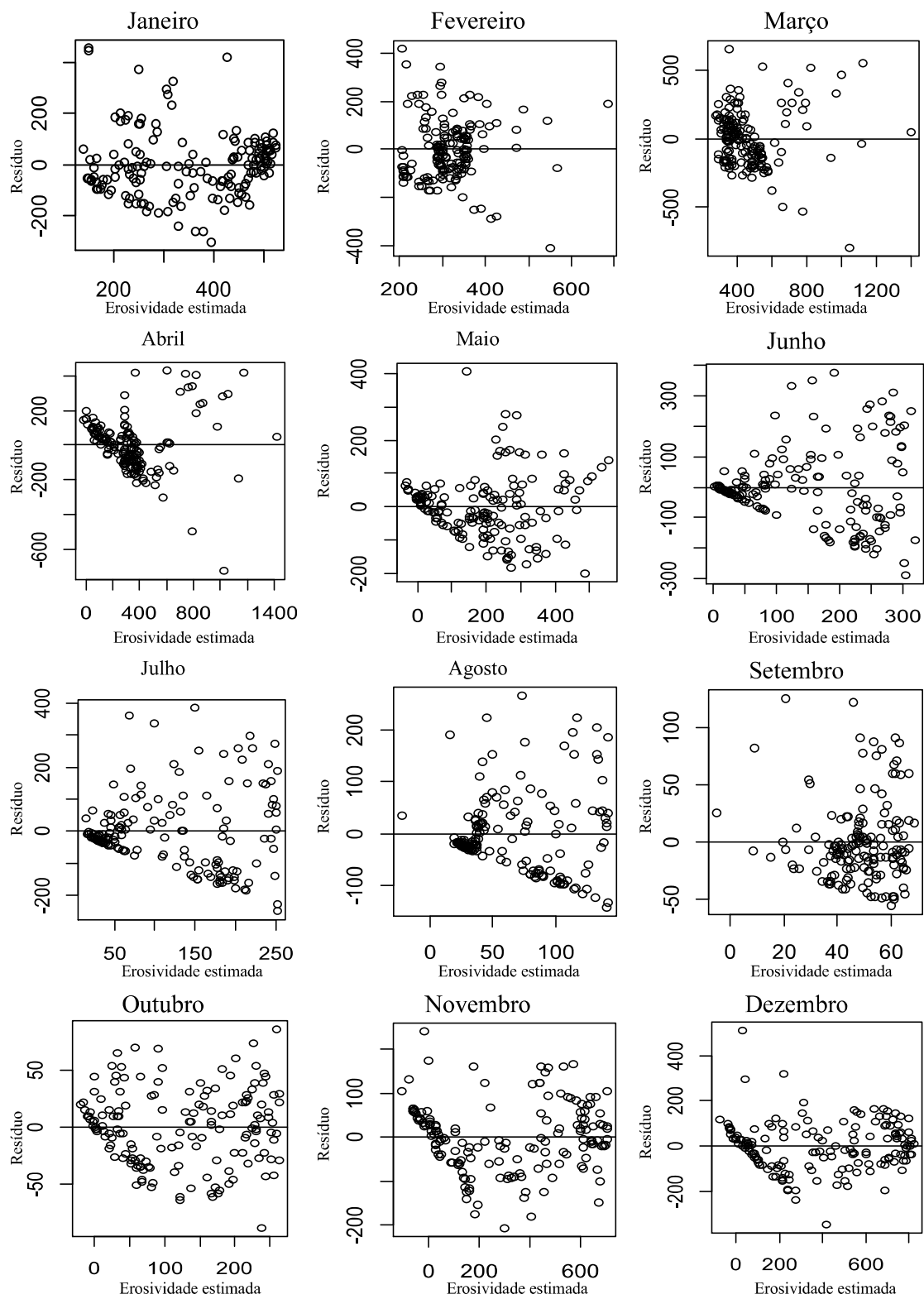


Figura 5 – Gráficos entre o resíduo e o valor normal esperado mensal.

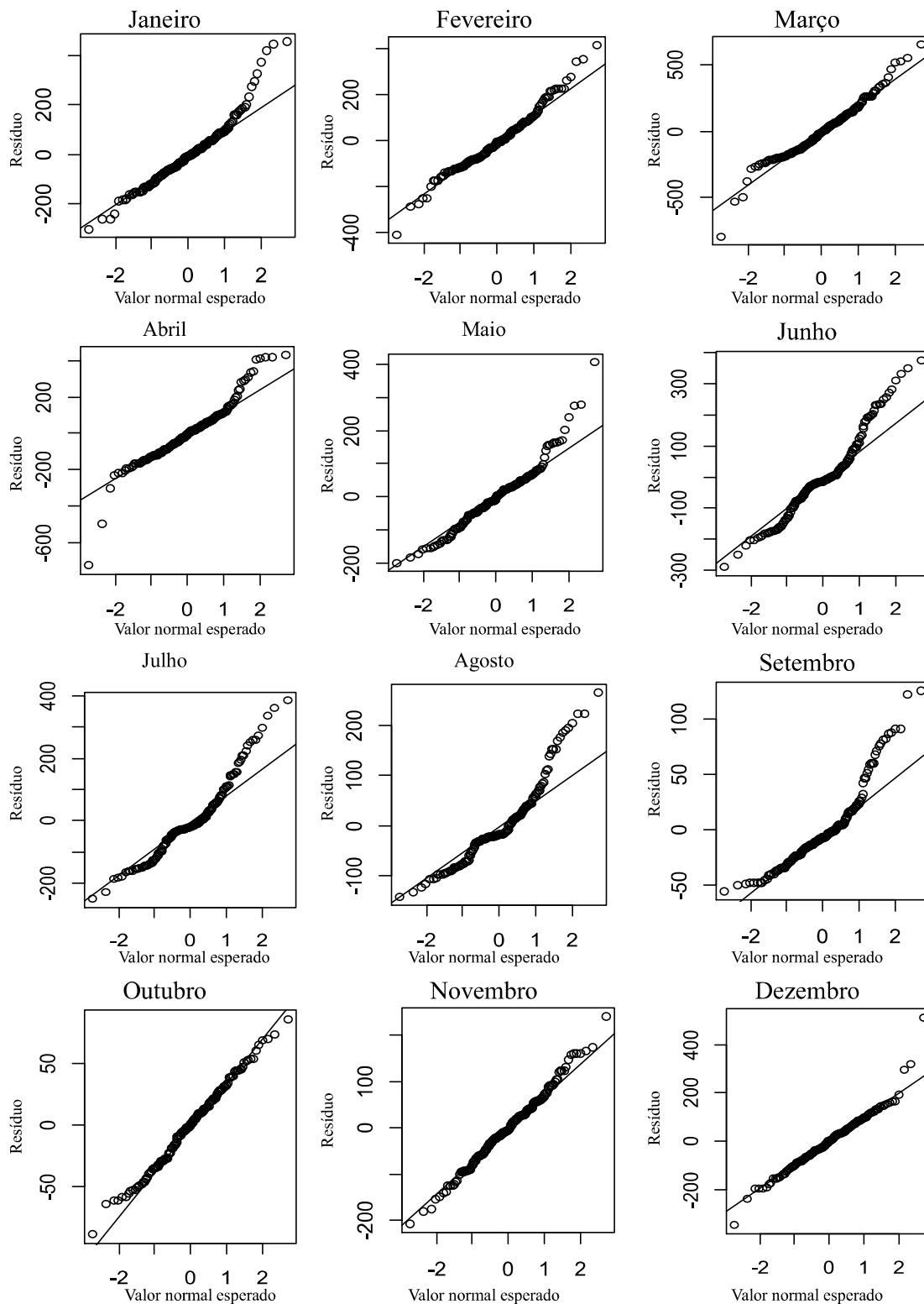


Figura 6 – Gráficos dos histogramas dos resíduos mensais.

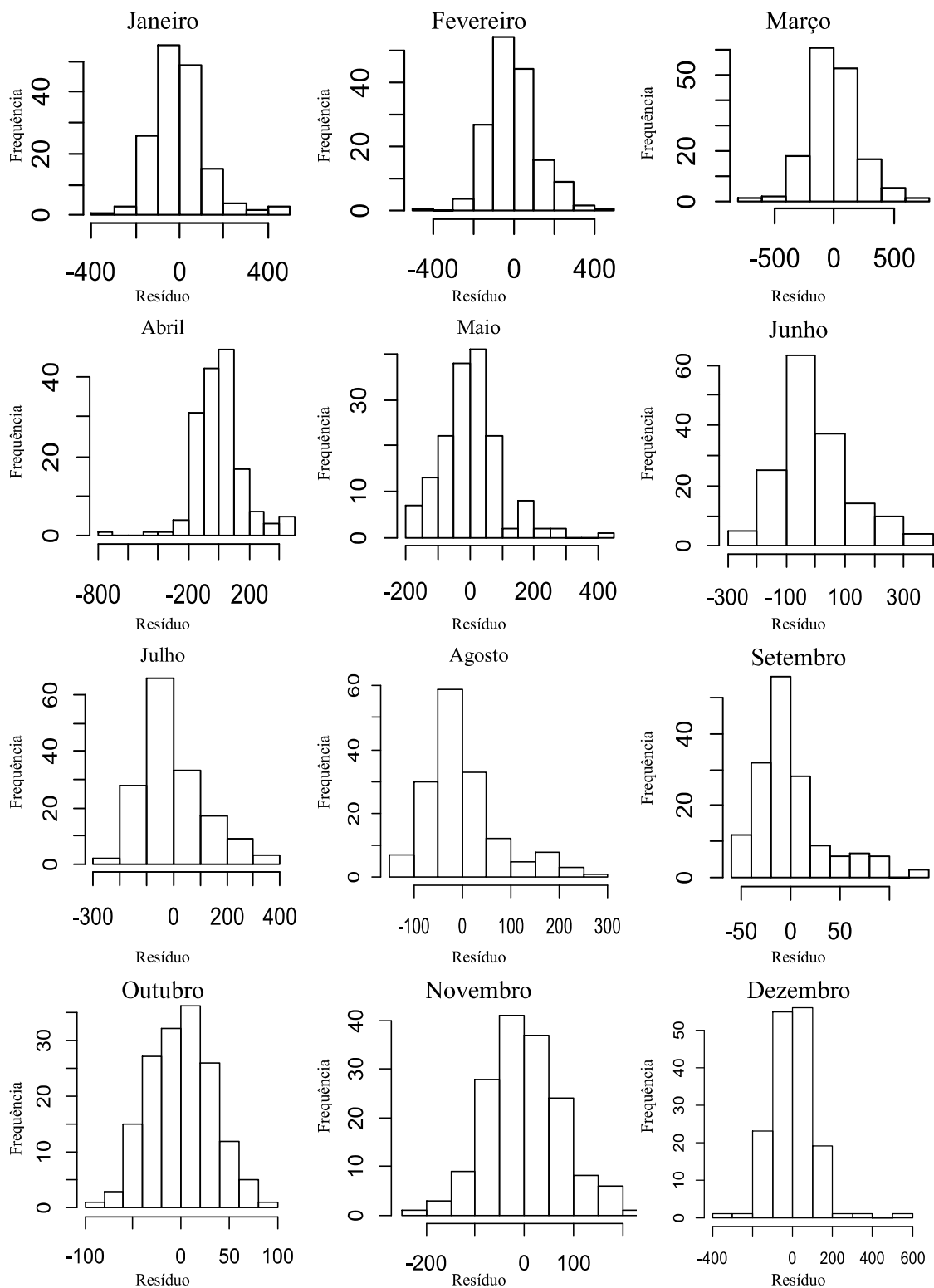
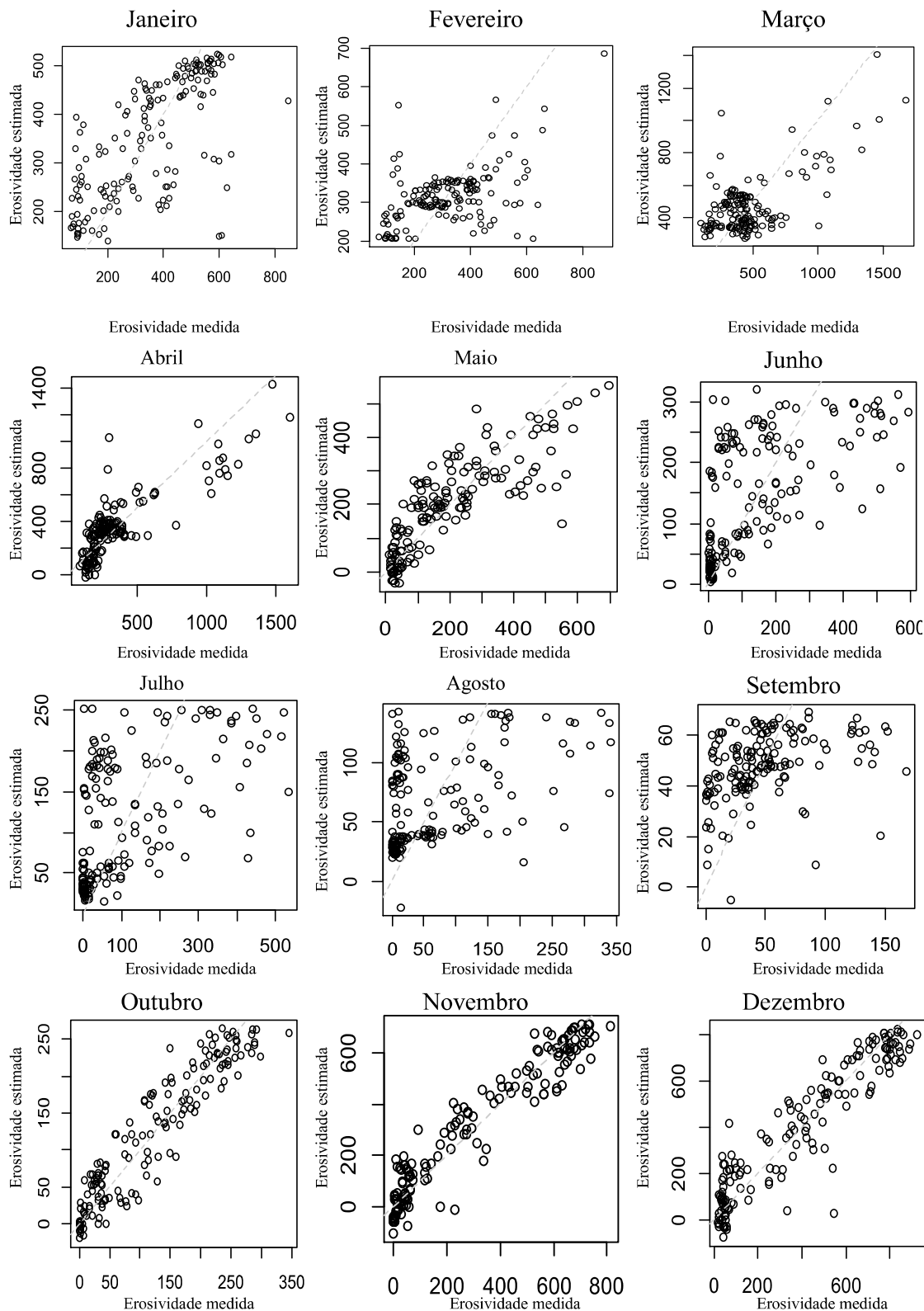
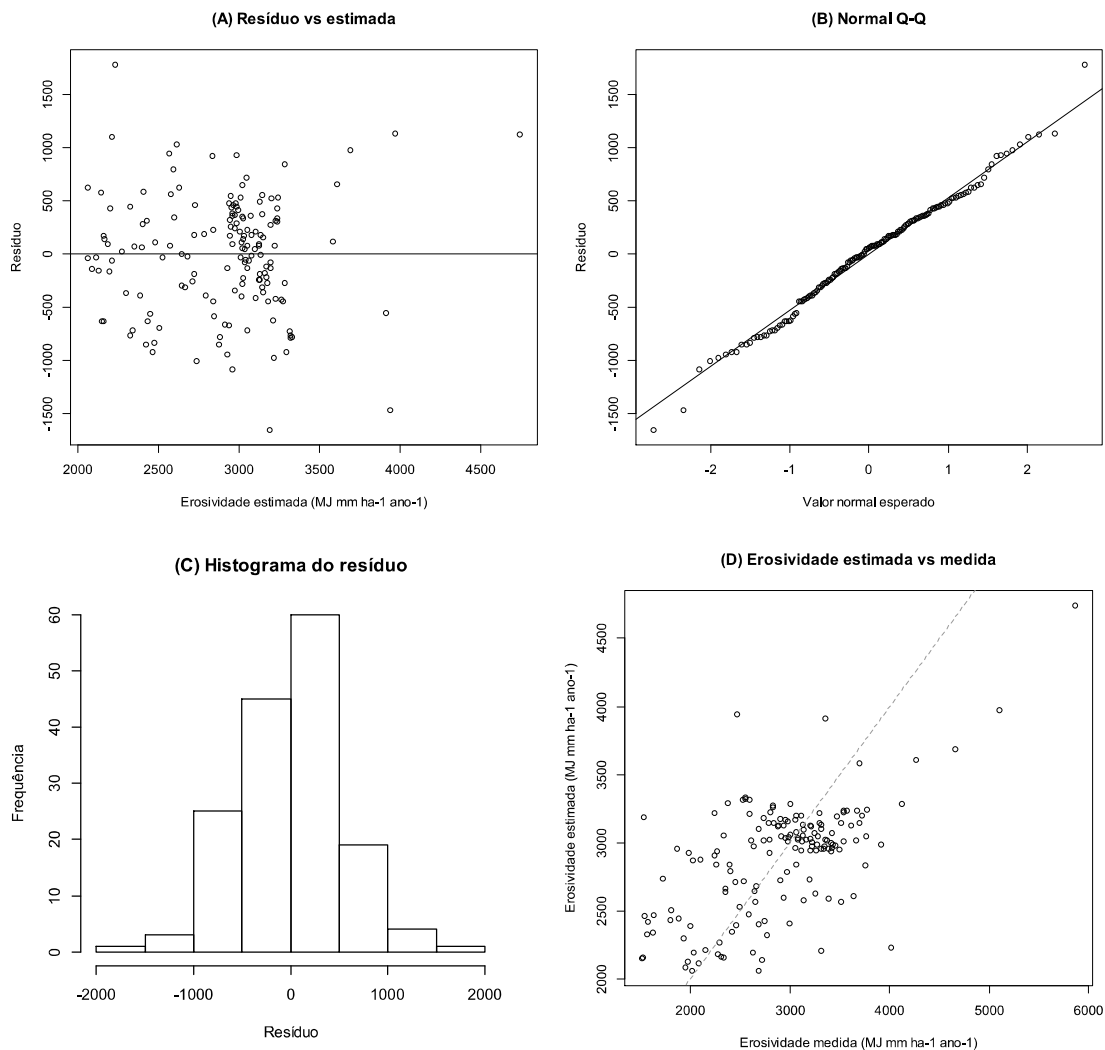


Figura 7 – Gráficos da relação mensal entre a erosividade estimada e a medida ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$).



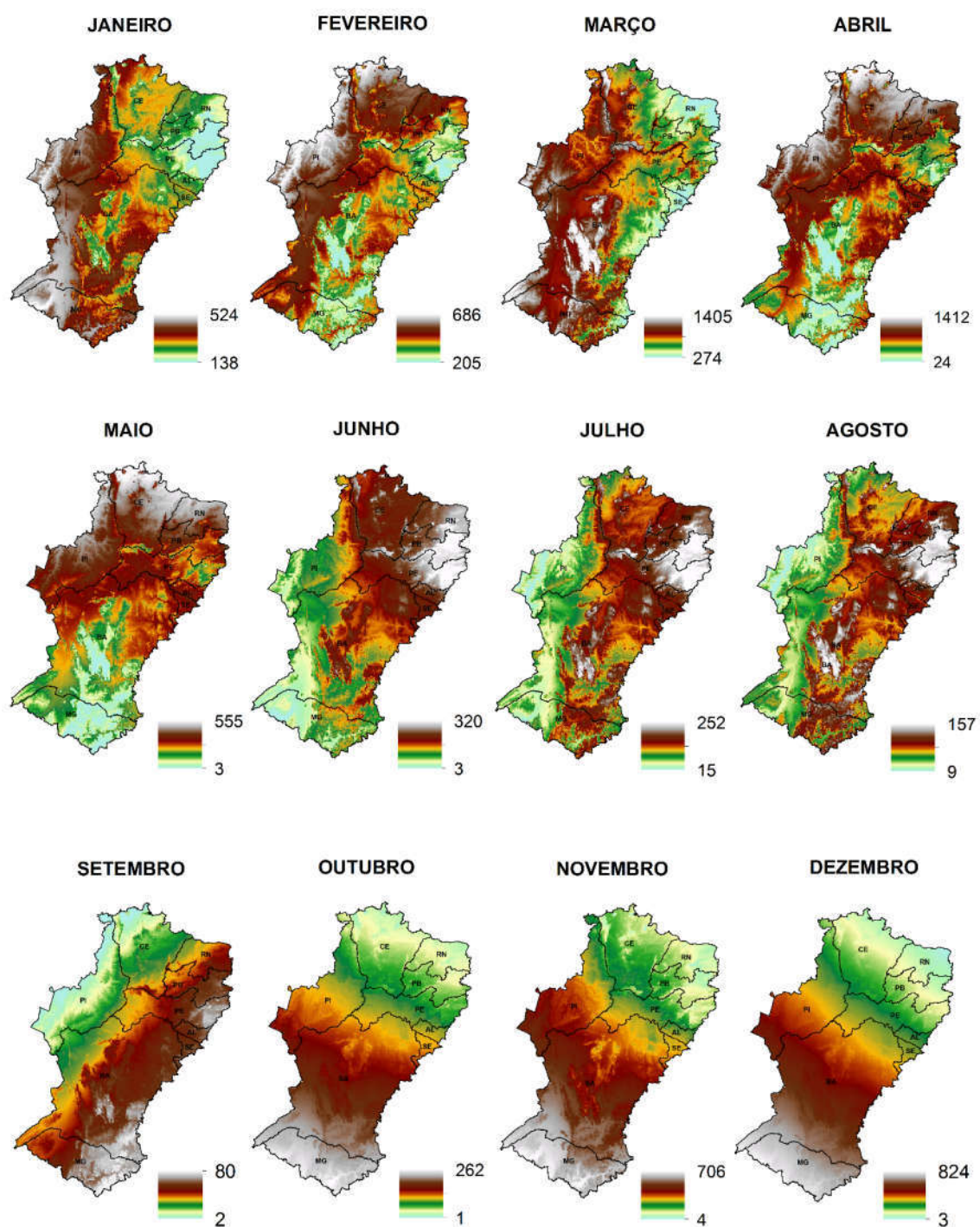
Na Figura 8 são apresentados os gráficos para os valores anuais. É possível perceber que apesar do diagrama de dispersão não seguir a linha de tendência ajustada a análise dos resíduos apresenta valores que tendem a serem distribuídos normalmente.

Figura 8 – Gráficos para os valores anuais.



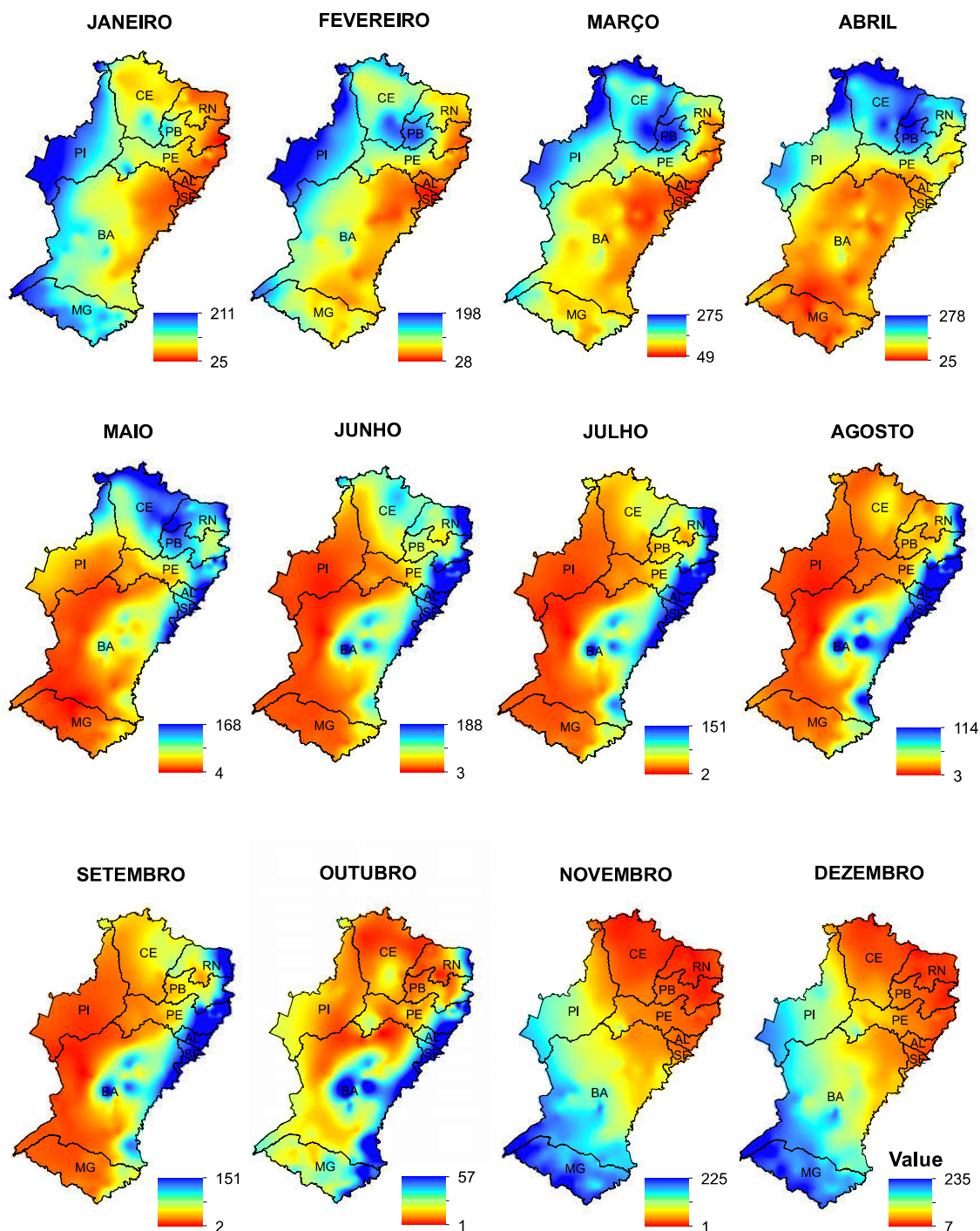
Na Figura 9 são observados os mapas de espacialização da erosividade mensal a partir das equações ajustadas para o Semiárido Brasileiro. A partir da análise para cada mês é possível constatar que nos meses de janeiro e fevereiro ocorre o aumento progressivo do valor da erosividade estimada. Os meses de março e abril apresentaram os maiores valores estimados mensais. Nestes meses, foi observada a predominância das chuvas na área do semiárido (MOURA et al., 2007). O quarto mês alcançou o maior valor da erosividade (1.412 MJ·mm·ha⁻¹·mes⁻¹) e o maior coeficiente de determinação para o período chuvoso (0,71).

Figura 9 – Mapas de erosividade mensal estimada ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{mes}^{-1}$).



Na Figura 10 são apresentados os mapas da pluviosidade média mensal. Para a parte Norte do Semiárido é possível perceber que o quadrimestre mais chuvoso compreende os meses de fevereiro a maio, resultado semelhante aos apresentados por Melo et al. (2002).

Figura 10 – Mapas da pluviosidade média mensal (mm).



Além disso, na Figura 10 é possível perceber que na parte Sul do Semiárido a estação chuvosa compreende os meses de novembro a janeiro, já na parte Leste os maiores índices são registrados no bimestre maio-junho e que o mês de março apresenta as maiores precipitações, resultados que são semelhantes aos apresentados por Molion e Bernardo (2000).

Na Figura 9 também é possível perceber que entre os meses de agosto a outubro os valores da erosividade espacializados a partir das equações ajustadas apresentaram os menores índices. O mês de agosto foi o único no qual a latitude não foi significativa para a equação ajustada. Já o mês de setembro apresentou o menor valor máximo estimado ($80 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$) e o menor coeficiente de determinação (0,13). Ressaltando que este trimestre é o mais seco para a região (MOURA et al., 2007).

Nos últimos dois meses do ano, os valores de erosividade estimada voltaram a aumentar, ao passo que o mês de dezembro apresentou para a região do estado de Minas Gerais o valor máximo de $827 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$. No mês de novembro tem por início o período chuvoso no norte de Minas Gerais (GUIMARÃES et al., 2010). O período também apresentou os melhores valores para o coeficiente de determinação, sendo 0,91 para o mês de novembro.

Na Figura 11 podem ser observados os mapas de precipitação pluvial anual, obtido pela interpolação (método do inverso do quadrado da distância, com expoente dois) dos valores de precipitação dos 158 postos pluviométricos, além do índice de erosividade, estimado pela equação ajustada neste estudo.

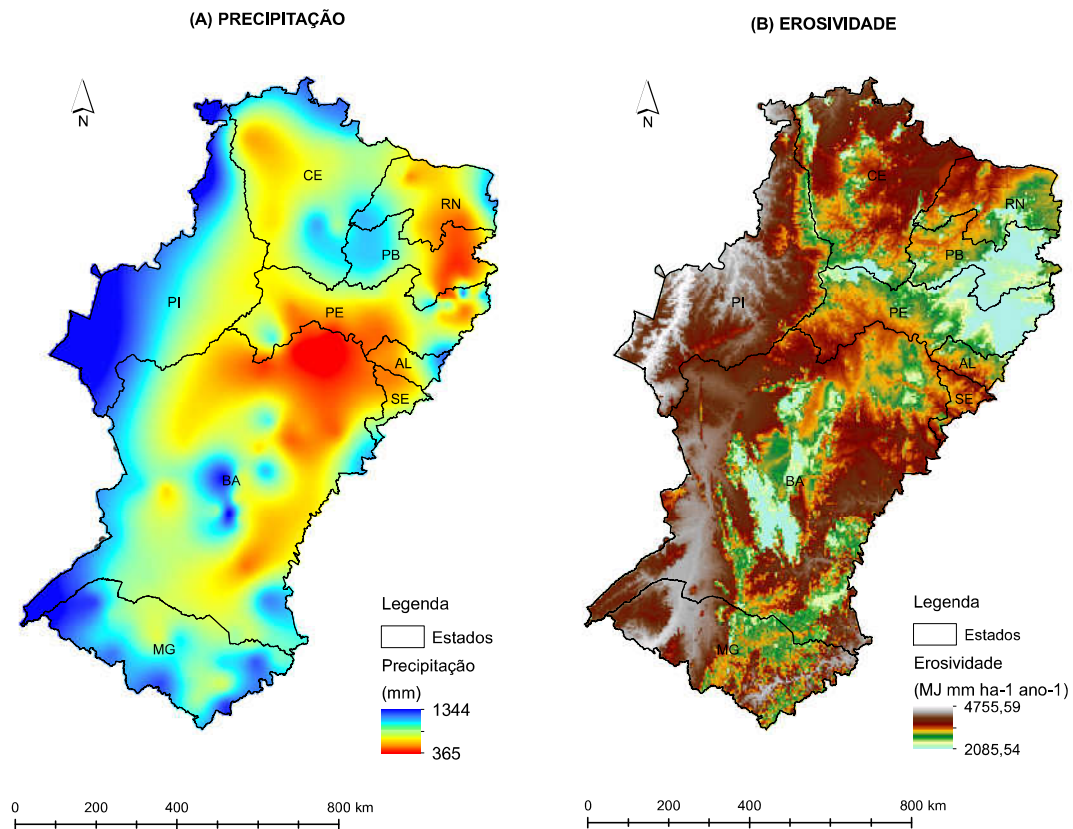
Na parte oeste da região (Figura 11A) são encontrados os maiores valores precipitados, diferente do observado no centro e no nordeste da região, com os menores valores de precipitação pluvial. Na parte central da Bahia e oeste da Paraíba a presença de valores mais elevados de precipitação ocorre devido à formação de microclimas específicos pela presença de serras e montanhas (MOURA et al., 2007).

Ao realizar a interpolação (Figura 11B) da erosividade anual espacializada para a região os valores estimados variaram entre 2.085,54 e $4.755,59 \text{ MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$.

Os menores valores estimados são apresentados nas regiões leste dos estados de Pernambuco e da Paraíba e na região central da Bahia. Por sua vez, os maiores valores tendem a ocorrer na região oeste do semiárido brasileiro, coincidindo com os maiores valores de precipitação.

Segundo a classificação do índice de erosividade proposta por Carvalho (2008), foram modeladas duas classes de erosividade para a região (Figura 12), fraca (1) e moderada (2). Resultado que coincide com o cenário climático existente na região semiárida.

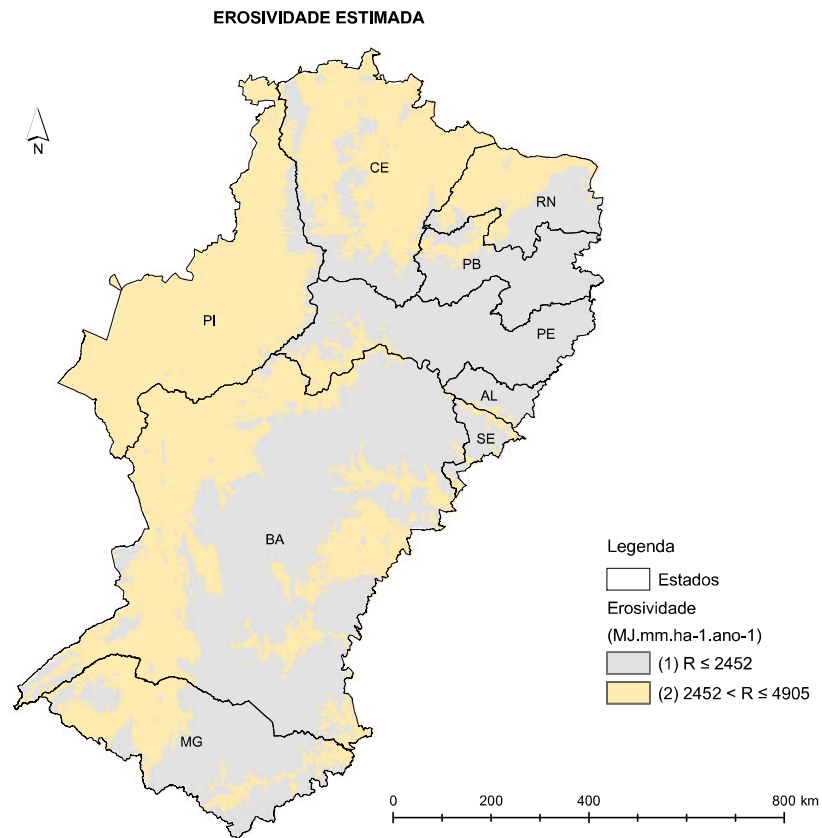
Figura 11 – Mapa de precipitação pluvial anual (A) e erosividade anual (B) espacializada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.



Os maiores valores do índice de erosividade e que possibilitam classificar a área como moderada estão presentes em uma área com cerca de 434.554 km², o que corresponde a 44% do semiárido brasileiro. Esta área engloba as regiões oeste do Rio Grande do Norte onde os valores são semelhantes aos encontrados por Santos (2015), além de abranger grande parte dos estados do Ceará, Piauí e as áreas de cerrado na Bahia e Minas Gerais. A área compreende também a bacia do Parnaíba, a região sul e o oeste da bacia do São Francisco e a parte norte da bacia Atlântico Nordeste oriental. Além de coincidir com a área classificada como afetada pelo processo de desertificação de modo grave nos estados da Bahia, Ceará e Rio Grande do Norte (INSA, 2016).

A grande extensão da região com uma área aproximada de 546.157 km², a qual corresponde a 56% da região se enquadra na classe de erosividade fraca.

Figura 12 – Mapa de erosividade anual classificada a partir da equação ajustada para o Semiárido Brasileiro.



Mesmo o semiárido brasileiro estando nas menores classes do índice de erosividade, práticas conservacionistas devem ser adotadas, visto que a agricultura praticada e a vegetação natural de Caatinga, contribuem para a perda de solos na região.

6 CONCLUSÃO

Das variáveis explicativas analisadas, a longitude e principalmente a latitude apresentaram as maiores correlações com os valores do índice de erosividade no Semiárido Brasileiro.

A área de estudo se encontra na classe de erosividade fraca e moderada, fato que pode ser considerado de alerta para o risco de desertificação, do assoreamento dos corpos hídricos, além da remoção da camada fértil e o empobrecimento do solo.

No período considerado chuvoso para a parte Norte do Semiárido o mês de abril apresentou o melhor coeficiente de determinação. Por sua vez, o mês de novembro que apresenta para a parte Sul da região altos índices de pluviosidade apresentou o melhor coeficiente de determinação dentre todos os meses.

Modelos de estimativa da erosividade da chuva, gerados a partir de dados de latitude, longitude, altitude e a menor distância em relação ao litoral podem ser utilizados na estimativa deste índice para a região.

Porém, para futuros trabalhos é sugerido a utilização de outras variáveis na busca de um melhor modelo matemático, como por exemplo a elevação, a declividade, o índice topográfico de umidade e o plano de curvatura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003. 159p.
- ALVES, J. M. B.; SOUZA, E. B.; REPELLI, C. A.; VITORINO, M. I.; FERREIRA, N.S. Episódios de La Niña na Bacia do Oceano Pacífico Equatorial e a Distribuição de Chuvas no Setor Norte do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 12, p. 63-76, 1997.
- ANA. **Hidroweb: sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em: 2013.
- AQUINO, R. F.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; SÁFADI, T.; CURI, N. Uso de modelos de séries temporais para predição da erosividade mensal, para o município de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 16, p. 205-210, 2008.
- ARAGÃO, R.; ALMEIDA, J. A. P.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutaba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 731-740, 2011.
- ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F.; CRUZ, M. A. S.; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 243-252, 2013.
- BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 235-244, 2010.
- BERTOL, I. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 515-521, 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo, 6ª ed. Editora: Ícone, 2008, 253p.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei: 4.936/2013**. Altera o inciso IV do art. 5º da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1056722&filename=PL+4936/2013> Acesso em: 25 fev. 2017.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei: 5.511/2013**. Altera o inciso IV do art. 5º da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1085998&filename=PL+5511/2013> Acesso em: 25 fev. 2017.
- BRASIL. Câmara dos Deputados. **Projeto de Lei: 6.048/2013**. Altera o inciso IV do art. 5º da Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989. Disponível em:

<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1113485&filenam e=PL+6048/2013> Acesso em: 25 fev. 2017.

BRASIL. **Diretrizes para a política nacional de controle da desertificação**. Brasília: MMA/Projeto BRA 93/036/Plano Nacional de Combate à Desertificação, 1998, 40p.

BRASIL. Lei nº 7.837, de 27 de setembro de 1989. Regulamenta o art. 159, inciso I, alínea c, da Constituição Federal, institui o Fundo Constitucional de Financiamento do Norte - FNO, o Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste - FNE e o Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste - FCO, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 18 nov. 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7827.htm>. Acesso em: 15 fev. 2017.

BRASIL. Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 jan. 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8171.htm>. Acesso em: 17 fev. 2017.

BRASIL. **Nova delimitação do Semiárido Brasileiro**. Ministério da Integração Nacional. Brasília: SDR, 2005, 35p.

BRASIL. Portaria Interministerial nº 1, de 09 de março de 2005. Atualiza os critérios que delimitam a região Semi-Árida do Nordeste. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 11 mar. 2005. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1117%3Aportaria-interministerial-nd-1-de-09-de-marco-de-2005&catid=75&Itemid=717>. Acesso em: 21 fev. 2017.

BRASIL. **Programa de revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**/Tribunal de Contas da União; Relator, Ministro Aroldo Cedraz – Brasília: TCU, Secretaria de Fiscalização e Avaliação de Programas de Governo, 2012. 64p.

BRASIL. **Constituição da República Federal do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições técnicas, 2007, 462p.

CABRAL, J. P. B.; BECEGATO, V. A.; SCOPEL, I.; LOPES, R. M. Estudo da erosividade e espacialização dos dados com técnicas de geoprocessamento na carta topográfica de Morrinhos-Goiás/Brasil para o período de 1971 a 2000. **GeoFocus**, n. 5, p. 1-18, 2005.

CANTALICE, J. R. B.; BEZERRA, S. A.; FIGUEIRA, S. B.; INÁCIO, E. DOS S. B.; SILVA, M. D. R. DE O. Linhas isoerosivas do estado de Pernambuco - 1ª aproximação. **Revista Caatinga**, v. 22 n. 2, p. 75-80, 2009.

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia prática. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 600p.
FRANCA-ROCHA, W.; SILVA, A. B.; NOLASCO, M. C.; LOBÃO, J.; BRITTO, D.; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. Levantamento da cobertura vegetal e do uso do solo do Bioma Caatinga. **Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 2629-2636.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. v.1. 336p.

EMILIANO, P. C. **Fundamentos e aplicações dos critérios de informação: akaike e bayesiano**. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 15-28, 2005.

GONÇALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 269-276, 2006.

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J.; LANDAU, E. C. **Índices pluviométricos em Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 88p.

INSA. **População do Semiárido Estimada para 2014**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2014, 2p.

INSA. **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2012, 103p.

INSA. **Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro – Acervo digital**. Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/sigsab/acervoDigital>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; CAITANO, F. R.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 5, n. 2, p.88-96, 2011.

MAFRA, N. M. C. Erosão e planificação de uso do solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005, p. 301-323.

MANNAERTS, C. M., GABRIELS, D. Rainfall erosivity in Cape Verde. **Soil Tillage Res.** v. 55, p. 207-212, 2000.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Brasília: MMA, 2006, 201p.

MARTINS, S. V. **Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração**. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2013. 264p.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. M. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36, n. 6, p. 1878-1891, 2012.

MELO, M. L. D.; NOBRE, P.; SANTANA, S. C. Estudo Climatológico da Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial e sua Influência sobre o Nordeste Brasil. XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais**. Rio de Janeiro. 2000.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; MELLO, J. M. & VIOLA, M. R. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 537-545, 2007.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007. 206p.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S.O. Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste brasileiro, In: XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET CL00132, Rio de Janeiro, RJ, 2000, 1 CD-ROM.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S.R. & FRANCO, E.M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 426-435, 2007.

MOREIRA, M. C.; CECÍLIO, R. A.; PINTO, F. A. C.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 1069-1076, 2006.

MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; BRITO, L. T. L.; SOUZA, L. S. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. L.; MOURA, M. S. B.; GAMA, G. F. B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007, v. 1, p. 37-59.

PEJON, J. O.; RODRIGUES, V. G. S.; ZUQUETE, L. V. Impactos Ambientais sobre o solo Engenharia, natureza e recursos naturais. p. 317-343. In: CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F. **Engenharia Ambiental: Conceitos, Tecnologia e Gestão**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. p. 317-343.

PEREIRA JUNIOR, J. S. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Brasília: Câmara dos Deputados, 2007, 24p.

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**. v. 17, p. 87-106, 2012.

PONTES, A. B. **Controle da erosão na região nordeste do Estado do Paraná, Brasil**. DNOCS. Curitiba, PR. 1977.

PORTO, E. R.; SILVA, A. S.; BRITO, L. T. L. Conservação e uso racional de água na agricultura dependente de chuvas. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. **Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p. 59-85.

PRUSKI, F.F. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: Editora UFV, 2009. 279p.

RENARD, K.G.; FREIMUND, J.R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**. v. 157, p. 287-306, 1994.

SAITO, N. S.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M. Uso da geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. **Revista Verde**, v. 4, n.2, p. 51-63, 2009.

SANTOS, T. E. M.; SILVA, J. R. L.; ANDRADE, T. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA JÚNIOR, V. P.; SANTOS, E. S. Índice de erosividade (EI30) das chuvas para a bacia experimental do Jatobá, no semi-árido pernambucano. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 8, 2006, Gravatá. **Anais**.

SANTOS, W. O. **Máximas intensidades e índices de erosividade de chuvas para o Rio Grande do Norte**. 2015. 142 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; FILHO, C. G. Caracterização do Semiárido Brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; SILVA, P. C. G. **Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 1, p. 17-48.

TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; SIMONETE, M. A. Predição da precipitação a partir das coordenadas geográficas no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 08, n. 3, p. 848-856, 2015.

TEODORO, P. E.; CUNHA, E. R.; CORRÊA, C. C. G.; RIBEIRO, L. P.; TORRES, F. E.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; BACANI, V. M. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da chuva mensal no estado de Mato Grosso do Sul. **Bioscience Journal**. v. 32, n. 1, p. 41-47, 2016.

TROLEIS, A. L.; SANTOS, A. C. V. **Estudos do Semiárido**. 2. ed. Natal: EDUFRN, 2011. 168p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS, 2009. 943 p.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, DC: USDA, 1978. 537p.

APÊNDICE – Caracterização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Código	Estado	Série	Latitude	Longitude	Altitude
ID	Sigla	Anos	°	°	Metros
339028	CE	95	-3.8075	-39.2425	35
341027	PI	19	-3.7233	-41.9756	55
438021	CE	75	-4.3022	-38.4969	42
438022	CE	75	-4.4997	-38.3611	50
438061	CE	19	-4.6550	-38.9436	0
440005	CE	45	-4.4156	-40.9117	820
535038	RN	35	-5.8458	-35.5233	99
536035	RN	20	-5.6319	-36.9161	0
537008	RN	96	-5.5933	-37.6842	70
537019	RN	76	-5.6436	-37.2553	45
537034	RN	20	-5.8672	-37.3147	0
537035	RN	20	-5.2889	-37.2889	0
537036	RN	20	-5.4500	-37.5150	0
537037	RN	20	-5.2194	-37.3622	0
538008	CE	46	-5.4669	-38.4081	70
539037	CE	96	-5.5783	-39.0150	173
541002	PI	36	-5.2247	-41.7369	120
636019	RN	22	-6.2428	-35.9947	240
636045	RN	18	-6.5936	-36.7850	0
637010	RN	44	-6.4622	-37.3025	120
637039	RN	20	-6.4511	-37.0906	0
638007	CE	95	-6.7625	-38.9614	247
638014	CE	95	-6.4094	-38.8639	160
638032	PB	23	-6.7353	-38.4481	240
638044	RN	44	-6.2128	-38.4256	500
639044	CE	33	-6.3783	-39.2939	0
640003	CE	96	-6.3264	-40.1586	325
642012	PI	21	-6.9733	-42.1061	160
735067	PE	44	-7.9428	-35.6342	270
735124	PB	37	-7.5283	-35.9997	350
735158	PE	21	-7.8547	-35.7644	418
735159	PE	21	-7.9100	-35.9886	401
736000	PB	23	-7.2175	-36.8289	500
736040	PE	21	-7.9864	-36.5006	600
736041	PE	21	-7.9619	-36.2022	472
736042	PE	21	-7.9039	-36.0469	785
737006	PB	96	-7.2142	-37.9258	250
737023	PE	93	-7.7389	-37.6483	525
737027	PE	95	-7.8678	-37.9725	460
741003	PI	40	-7.4497	-41.4775	180
741009	PI	40	-7.1819	-41.7650	340
742011	PI	21	-7.2331	-42.5444	0

Código	Estado	Série	Latitude	Longitude	Altitude
ID	Sigla	Anos	°	°	Metros
835106	PE	28	-8.2992	-36.0028	545
835135	PE	21	-8.0119	-35.6961	395
836043	PE	44	-8.3656	-36.5603	653
836092	PE	21	-8.1456	-36.3703	646
836093	PE	21	-8.1894	-36.7069	1035
837038	PE	35	-8.9208	-37.8306	355
838000	PE	72	-8.5392	-38.1928	361
838002	PE	44	-8.2397	-38.5278	375
838004	PE	60	-8.7650	-38.9606	305
838021	PE	29	-8.6064	-38.5786	317
838031	PE	29	-8.0006	-38.2447	435
839009	PE	44	-8.2628	-39.8472	390
839013	PE	23	-8.0922	-39.5742	379
839014	PE	44	-8.1778	-39.7314	350
839031	PE	29	-8.6231	-39.2392	300
839034	PE	29	-8.5203	-39.6408	0
840010	PE	66	-8.6161	-39.9994	350
840015	PE	66	-8.9989	-40.2731	365
844008	PI	40	-8.8189	-44.2200	240
936076	AL	34	-9.9728	-37.0033	0
936115	AL	16	-9.3203	-36.4919	220
937013	AL	71	-9.3928	-37.9942	256
937018	AL	72	-9.7525	-37.4467	45
937023	AL	72	-9.6261	-37.7561	110
937031	PE	29	-9.1056	-37.1317	376
937032	AL	28	-9.3728	-37.2453	250
939017	BA	30	-9.1225	-39.9364	365
940018	BA	60	-9.5597	-40.6467	377
940024	BA	83	-9.4056	-40.5033	370
940025	BA	34	-9.4908	-40.2044	378
940028	BA	34	-9.6767	-40.6039	397
1036048	SE	34	-10.2153	-36.8239	17
1039019	BA	69	-10.9742	-39.6328	279
1039025	BA	23	-10.6514	-39.7211	335
1040025	BA	22	-10.8025	-40.3800	425
1040026	BA	22	-10.8444	-40.1117	348
1040027	BA	22	-10.3947	-40.1147	474
1042012	BA	29	-10.9864	-42.3422	414
1138002	BA	58	-11.7828	-38.3481	158
1138014	BA	62	-11.0981	-38.5131	131
1138026	BA	24	-11.0631	-38.8353	153
1139022	BA	24	-11.4742	-39.7847	0
1140000	BA	41	-11.4325	-40.6044	562
1140010	BA	42	-11.5533	-40.6000	0
1140031	BA	23	-11.8656	-40.5178	515
1140032	BA	23	-11.4106	-40.3036	380

Código ID	Estado Sigla	Série Anos	Latitude °	Longitude °	Altitude Metros
1140033	BA	22	-11.2303	-39.9658	345
1142020	BA	29	-11.3561	-42.2736	489
1143002	BA	61	-11.5633	-43.2753	418
1143010	BA	70	-11.3414	-43.8278	411
1239007	BA	47	-12.5850	-39.5183	159
1240012	BA	73	-12.9900	-40.9633	299
1240016	BA	62	-12.7622	-40.2108	237
1241001	BA	38	-12.9347	-41.0658	317
1241008	BA	63	-12.8017	-41.3275	330
1241017	BA	65	-12.4975	-41.2961	355
1241026	BA	30	-12.5019	-41.2078	357
1241027	BA	30	-12.0600	-41.3475	0
1241028	BA	15	-12.0192	-41.0547	511
1241032	BA	23	-12.7664	-41.5361	0
1241033	BA	22	-13.0075	-41.3700	870
1242015	BA	31	-12.0036	-42.6283	837
1242016	BA	34	-12.2519	-42.7628	440
1243000	BA	45	-12.8669	-43.3814	413
1243011	BA	54	-12.1806	-43.2233	420
1243019	BA	23	-12.7692	-43.9575	480
1339041	BA	64	-13.2975	-39.8214	415
1340003	BA	64	-13.8822	-40.1403	199
1341029	BA	22	-13.8128	-41.3019	521
1343008	BA	70	-13.2925	-43.9092	442
1343019	BA	26	-13.2553	-43.4358	0
1344015	BA	45	-13.5667	-44.3061	447
1344017	BA	62	-13.4006	-44.1975	437
1440009	BA	44	-14.7444	-40.4917	989
1440032	BA	22	-14.0339	-40.9675	0
1441000	BA	66	-14.0994	-41.2911	341
1442031	BA	22	-14.7603	-42.6561	646
1443001	MG	67	-14.7567	-43.9322	452
1443002	BA	69	-14.3044	-43.7681	440
1443026	BA	23	-14.2594	-43.1656	569
1444000	MG	60	-14.3136	-44.4603	475
1444001	MG	53	-14.4231	-44.4836	523
1444003	MG	39	-14.7475	-44.4111	0
1444004	MG	42	-14.2628	-44.1608	440
1444005	MG	37	-14.2806	-44.4094	450
1444017	BA	60	-14.2683	-44.5217	500
1445000	MG	24	-14.8361	-45.1733	700
1540003	BA	41	-15.3408	-40.9328	520
1540004	BA	30	-15.7406	-40.8836	342
1541001	BA	34	-15.5050	-41.2292	676
1541010	MG	30	-15.5808	-41.4086	687
1541013	MG	22	-15.4897	-41.4578	0

Código	Estado	Série	Latitude	Longitude	Altitude
ID	Sigla	Anos	°	°	Metros
1542014	MG	30	-15.3167	-42.0228	765
1542015	MG	30	-15.5983	-42.5475	782
1542016	MG	23	-15.6367	-42.9436	0
1543002	MG	43	-15.3411	-43.6753	450
1543013	MG	37	-15.7756	-43.2797	498
1544017	MG	33	-15.5986	-44.3931	0
1544018	MG	31	-15.0225	-44.0536	0
1544019	MG	30	-15.9303	-44.0042	0
1544030	MG	23	-15.7042	-44.0286	0
1640000	MG	58	-16.1386	-40.2903	160
1640001	MG	30	-16.1203	-40.7394	0
1641001	MG	58	-16.5683	-41.5031	241
1641002	MG	65	-16.4275	-41.0139	254
1641007	MG	32	-16.6894	-41.4983	0
1641010	MG	29	-16.6181	-41.7675	0
1641011	MG	30	-16.2300	-41.4808	590
1642002	MG	58	-16.6131	-42.1869	279
1642007	MG	60	-16.6789	-42.4856	273
1642008	MG	59	-16.4119	-42.2683	380
1642013	MG	60	-16.8600	-42.3475	290
1642014	MG	33	-16.5906	-42.9186	0
1643020	MG	33	-16.3222	-43.7150	0
1741013	MG	29	-17.0728	-41.4831	0
1742020	MG	21	-16.9711	-42.1156	0